دستورالعمل تعویض فیلتر دستگاه گازسنج

فهرست

۱- مقدمه..... ۵
۱-۱- هدف..... ۵
۱-۲- محدوده ۵
۱-۳- تعاریف و اصطلاحات ۵
۲- تئوری..... ۷
۲-۱- آشکارسازی (گازسنجی) ۷
۲-۱-۱- انواع دستگاه‌های گازسنج..... ۸
۲-۱-۱-۲- دستگاه گازسنج Honeywell BW ultra ۹
۲-۱-۲- فیلتراسیون در گازسنجی ۱۶
۲-۲- طول عمر فیلتر..... ۱۸
۲-۲-۱- بررسی عوامل تاثیرگذار بر طول عمر فیلتر..... ۱۸
۲-۲-۲- شاخص کیفیت هوا (Air Quality Index) ۲۰
۲-۲-۳- نحوه محاسبه شاخص ۲۱
۲-۲-۴- Humidex ۲۳
۲-۲-۵- تعریف EAQI ۲۴
۲-۲-۶- نحوه‌ی محاسبه مدت زمان تعویض فیلتر براساس گزارشی از تهران..... ۲۴
۳- نتیجه‌گیری. ۲۶
۳-۱- جدول محاسبه زمان تعویض فیلتر ۲۶
۴- پیوست‌ها..... ۳۱
۵- منابع..... ۳۳

فهرست جداول

جدول ۲-۱- قطعات دستگاه گازسنج GasAlertMax XT II برای تعویض پمپ فیلتر ۸
جدول ۲-۲- نام‌گذاری قطعات مختلف دستگاه گازسنج Orion ۱۴
جدول ۲-۳- مقایسه نقاط شکست AQI ۲۲
جدول ۲-۴- معیار Humidex ۲۳
جدول ۳-۱- شاخص Humidex و وزن اثرگذار آن در محاسبه EAQI ۲۸
جدول ۳-۲- شاخص AQI و وزن اثرگذار آن در محاسبه EAQI ۲۹
جدول ۳-۳- مدت زمان پیشنهادی فیلترها با اثر دادن پارامترها در شاخص EAQI ۲۹
جدول ۳-۴- بررسی اثر دما و رطوبت در شرایط heavy industry dust و زمان تعویض فیلترها ۲۹

فهرست شکل‌ها

شکل ۲-۱- شماتیک دستگاه گازسنج GasAlertMax XT II ۸
شکل ۲-۲- فیلترهای مورد استفاده در دستگاه گاز سنج GasAlertMax XT II ۹
شکل ۲-۳- مراحل تعویض فیلتر : ۱) دستگاه را خاموش کرده و پیچ کنار آن را باز کنید. ۲) درپوش ورودی محفظه را در جهت عقربه‌های ساعت باز کنید. ۳) درپوش ورودی را جدا کرده و ۴) هر دو فیلتر ذرات و رطوبت را جدا کرده و فیلترهای جدید را جایگزین کنید. ۵) در نهایت دوباره درپوش را سرجای خود قرار داده و پیچ را ببندید. ۱۰
شکل ۲-۴- دستگاه گاز سنج MSA ALTAIR5X و نحوه جایگذاری فیلترها ۱۱
شکل ۲- ۵- فیلترهای مورد استفاده در دستگاه گاز سنج MSA ALTAIR5X. ۱۱
شکل ۲-۶- دستگاه گاز سنج MSA ALTAIR4X و محل قرارگیری فیلترها ۱۲
شکل ۲-۷- فیلترهای مورد استفاده در دستگاه گاز سنج MSA ALTAIR4X ۱۳
شکل ۲-۸- محل جایگذاری قطعات مختلف دستگاه گازسنج Orion ۱۵
شکل ۲-۹- مدت زمان پیشنهادی توسط کاتالوگ دستگاه برای تعویض فیلتر آن ۱۵
شکل ۲-۱۰- تفاوت فیلتراسیون سطحی و عمقی ۱۷
شکل ۲-۱۱- الف) تصویر میکروسکوپ الکترونی از الیاف قبل از استفاده و ب) از الیاف فیلتر استفاده شده همراه با آلودگی ۱۸
شکل ۲- ۱۲- عملکرد فیلتر آبگریز در حضور ذرات آبدوست ۱۹
شکل ۲-۱۳- نمودار درصد افزایش افت فشار نسبت به زمان و وزن ذرات جمع آوری شده در فیلتر، تحت شرایط رطوبت نسبی الف) ۴۰ و ب) ۸۰ درصد در حضور ذرات آبدوست و استفاده از فیلتر آبگریز در مدت زمان ۱۲ ساعت کارکرد فیلتر ۱۹
شکل ۲-۱۴-مقایسه سایز ذرات آلاینده هوا در برابر قطر موی انسان ۲۳
شکل ۲- ۱۵- نحوه محاسبه EAQI و اثرات وزن‌های پارامترهای AQI و Humidex ۲۴
شکل ۳-۱- اندازه نسبی آلودگی‌های موجود در هوا ۲۷
شکل ۴-۱- آزمون ظرفیت فیلتر شرکت رادین فرادید پترو صنعت بر اساس استاندارد EN779 ..... ۳۱
شکل ۴-۲- بازده اولیه فیلتر رادین فرادید پترو صنعت بر اساس استاندارد EN779 ..... ۳۲

۱- مقدمه

۱-۱- هدف

هدف از تدوین این دستورالعمل، مشخص کردن زمان تعویض به‌هنگام فیلترهای دستگاه گازسنج مورد استفاده در واحدهای ایمنی (HSE) و آتش نشانی با توجه به شرایط محیطی همچون شاخص آلودگی، دما و رطوبت هوا می باشد، که به طور معمول این وظیفه بر عهده‌ی کارشناس ایمنی و یا مسئول گازسنجی شرکت می‌باشد.

۱-۲- محدوده

این دستورالعمل در خصوص تمامی گازسنج های مورد استفاده که دارای فیلترهای قابل تعویض می‌باشند، معتبر و قابل اجراست.

۱-۳- تعاریف و اصطلاحات

- **گازسنجی:** اندازه گیری میزان گازهای قابل اشتعال، سمی، اکسیژن و سایر گازها را گویند.
- **دستگاه گازسنج:** گازسنج یا آشکار ساز دستگاهی است که به منظور اندازه گیری گازها در محیط کار مورد استفاده قرار می‌گیرد. گازهایی که به طور معمول جهت صدور مجوز کار مورد پایش قرار می‌گیرند عبارتند از: گاز قابل اشتعال و قابل انفجار، اکسیژن، هیدروژن سولفید و مونواکسید کربن.
- **اپراتور گاز قابل اشتعال:** فردی است که با شرایط عملیاتی آشنا بوده و و نحوه کار کردن با دستگاه گازسنج را بداند. این فرد معمولا شخص مسئول محوطه و یا یکی از نفرات تحت امر وی می‌باشد که پس از معرفی به واحد ایمنی و احراز صلاحیت وی، مجاز به انجام آزمایش گازهای قابل اشتعال (گازسنجی) و امضای محل مربوط در مجوز کار خواهد بود. برای آزمایش کننده گاز قابل اشتعال دارای صلاحیت، کارتی با امضای رئیس HSE/ ایمنی به عنوان مجوز گازسنجی صادر می‌شود.
- **فیلتر هیدروفوبیک:** فیلترهای آبگریز یا هیدروفوبیک معمولا در فرآیندهای فیلتراسیون گاز استفاده می‌شوند. آبگریز بودن یک فیلتر به سیالات غیرقطبی مانند هوا اجازه می‌دهد تا تعامل موثرتری داشته باشند و از عبور رطوبت جلوگیری کند.
- **فیلتر ذرات یا فیلتر گرد و غبار:** فیلتراسیون ذرات به معنای تفکیک ذرات بزرگ موجود در سیالاتی است که در حالت سوسپانسیون موجود هستند و این سیالات می‌توانند مایع یا گاز باشد. در این فرآیند ذرات بزرگ نمی‌توانند از شبکه فیلتر رد شوند ولی ذرات ریز موجود در گاز به راحتی از آن عبور می‌کنند، به این ترتیب فیلتراسیون صورت می‌گیرد.

- **راندمان فیلتر:** به میزان کارایی و عملکرد یک فیلتر در حذف آلاینده‌ها اشاره دارد. این عملکرد معمولا به صورت درصدی بیان می‌شود و نشان می‌دهد که چه مقدار از آلاینده‌ها توسط فیلتر حذف می‌شود. راندمان بالا به معنای حذف بیشتر آلاینده‌ها و عملکرد بهتر فیلتر است.
- **ذرات آلاینده PM_{10} :** به ذرات معلق ۱۰ میکرونی و یا کوچکتر در مقیاس قطری گفته می‌شود که هم منشا طبیعی و هم منشا مصنوعی داشته و می‌تواند ترکیبی ناهمگون از ذرات جامد و مایع معلق در هوا باشد. این ذرات از حیث اندازه و ترکیب شیمیایی با هم تفاوت می‌کنند.
- **ذرات آلاینده $PM_{2.5}$:** به ذرات معلق ۲/۵ میکرونی و یا کوچکتر در مقیاس قطری گفته می‌شود که هم منشا طبیعی و هم منشا مصنوعی داشته و می‌تواند ترکیبی ناهمگون از ذرات جامد و مایع معلق در هوا باشد. این ذرات از حیث اندازه و ترکیب شیمیایی با هم تفاوت می‌کنند.
- **شاخص کیفیت هوا (AQI[1]):** شاخص کیفیت هوا (AQI) توسط آژانس های حفاظت محیط زیست در سراسر جهان استفاده شده است. مقیاسی از آلودگی هوا برای نشان دادن سطوح آن برای آگاه کردن مردم در اطراف یک منطقه برای تنظیم فعالیت های خود در فضای باز برای جلوگیری از خطر آلودگی ناشی از آلودگی است. AQI بر اساس زمان واقعی محاسبه می شود تا یک مقیاس عددی با کد رنگی که در چندین محدوده خاص طبقه بندی می شود، تشکیل شود.
- **شاخص رطوبت[2]:** شاخص رطوبت شاخصی است که توسط هواشناسان کانادایی استفاده می‌شود و بیان می‌کند که یک فرد متوسط , دمای هوا را چگونه حس می‌کند. در این شاخص دو عامل حرارت و رطوبت هوا در نظر گرفته می‌شود. این شاخص یک کیمیت بدون واحد بوده و معادل دمای خشک بر مبنای سلسیوس است.
- **رطوبت نسبی[3]:** رطوبت نسبی که با RH یا Φ نشان داده می‌شود، به صورت نسبت فشار جزئی بخار آب، به فشار بخار آب در یک دمای خاص تعریف می‌شود. رطوبت نسبی بستگی به دما و فشار سیستم مورد اندازه‌گیری دارد. در یک دمای سردتر میزان بخار آب یکسان باعث داشتن رطوبت نسبی بیشتر می‌شود.
- **فیلتر هپا[4]:** به معنای حذف ذرات معلق هوا با راندمان بالا است. زیان‌آورترین ذرات معلق در هوا اندازه‌ای حدود ۰/۳ میکرون دارند و فیلترهای هپا بر اساس استاندارد اروپایی حداقل ۹۹/۹۵ درصد و بر اساس استاندارد ASME بیش از ۹۹/۹۷ درصد از این ذرات را جذب می‌کنند. ۰/۳ میکرون اندازه ذراتی است که بر اساس مطالعات بیشترین نفوذ را از فیلترهای هپا نسبت به ذرات کوچک‌تر و بزرگ‌تر دارند و لذا عملکرد فیلترهای هپا بر اساس قابلیت جذب این ذرات سنجیده می‌شود[1].

[1] Air Quality Index
[2] Humidex
[3] Relative humidity
[4] HEPA filter (High Efficiency Particulate Air)

۲- تئوری

۲-۱- آشکارسازی (گازسنجی)

آشکار سازی و اندازه گیری قابل اعتماد گازها و بخارات قابل اشتعال در محیط کار، یکی از مؤثرترین شیوه های کاهش خطر آتش سوزی و انفجار است. نشت گازها و بخارات قابل اشتعال در بسیاری از موارد قابل تشخیص نیست. در چنین شرایطی، آشکار سازی مداوم[5] گازها و بخارات، فرصت کافی را برای عملیات پیشگیری قبل از آنکه تراکم گازها و بخارات به حد قابل اشتعال برسد، ایجاد می کند. علاوه براین، امکان قرار گرفتن افراد در معرض خطرات بالقوه در زمان‌های مختلف همچون زمان تعمیر و نگهداری، وجود دارد. لذا باید جهت جلوگیری از استنشاق بخارهای حلال، گازهای سمی و سایر آلاینده های تنفسی اقدامات لازم صورت گیرد.

گازهای صنعتی به لحاظ خواص گازها بصورت زیر دسته بندی می‌گردد :

۱) گازهای اکسید کننده : گازهایی نظیر اکسیژن که بخودی خود نمی‌سوزند ولی به عمل سوختن کمک می‌نمایند.
۲) گازهای بی اثر : گازهایی نظیر ازت و ... که به اشتعال کمک نمی‌کنند و با یکدیگر نیز واکنش نمی‌دهند ولی موجودات زنده به دلیل کاهش یا حذف اکسیژن از محیط توانایی ماندن در این گازها را ندارند .
۳) گازهای قابل اشتعال : گازهایی نظیر پروپان، بوتان، استیلن و ... که در صورت موجود بودن اکسیژن در محیط و افزایش دما یا وجود منبع جرقه آتش گرفته و می‌سوزند .
۴) گازهای سمی : گازهایی نظیر کلر، مونواکسید کربن، آمونیاک و ... که استنشاق آنها حتی در غلظت‌های پایین (در حد PPM) موجب آسیب و یا مرگ خواهد شد .
۵) گازهای خورنده : گازهایی نظیر کلر، دی اکسید گوگرد و... که با مواد دیگر واکنش داده و موجب فرسایش می‌شوند و بعضاً ممکن است گازهای سمی نیز ایجاد نمایند.

تمامی گازها (حتی گازهای خنثی) بجز اکسیژن و هوا خفه کننده می‌باشد ، زیرا با هوا جایگزین و مانع رسیدن اکسیژن به بدن انسان خواهند شد.

انواع وسایل اندازه گیری (آشکارسازها) : برای اندازه گیری مداوم گازها و بخارات قابل اشتعال، دستگاه ها و وسایل به سه دسته اصلی تقسیم می شوند:

۱- وسایل قابل حمل و نقل (پرتابل) برای اندازه‌گیری لحظه‌ای

۲- وسایل ثابت برای اندازه‌گیری مداوم

۳- وسایل پرتابل برای اندازه‌گیری مداوم

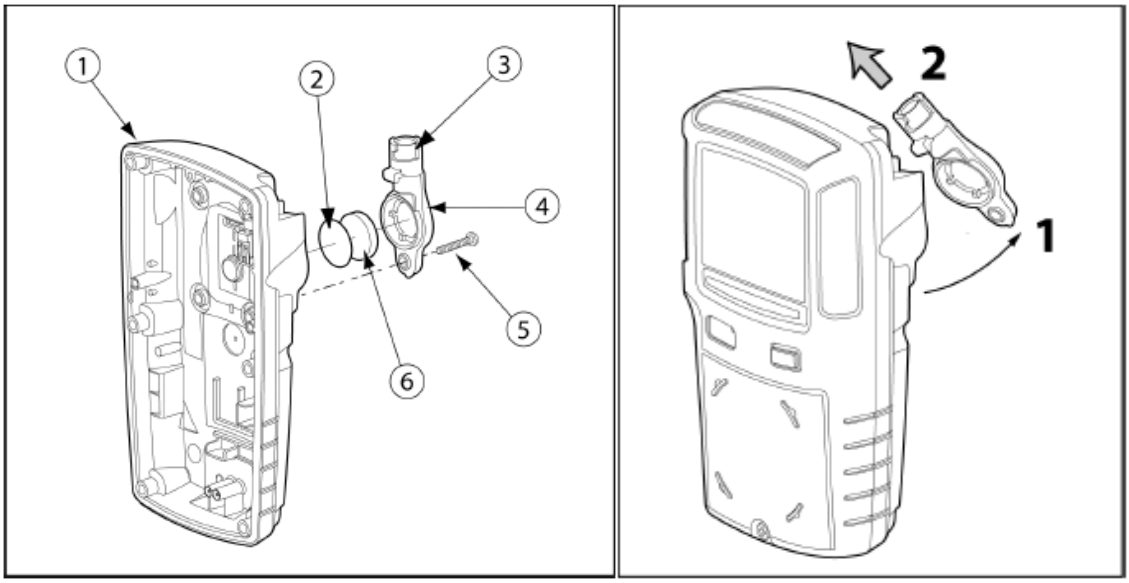
[5] Monitoring

با توجه به اهمیت دقت در گازسنجی، نحوه استفاده و نگهداری درست از دستگاه‌های گازسنج، الزام آور است. چراکه از مخاطرات احتمالی در بخش‌های مختلف صنعت نفت، پالایش و پتروشیمی (شامل بخش‌های بالادستی، میان دستی و پایین دستی) در صورت عدم اقدام به موقع، موجب بروز حوادث ناگوار می‌گردد.

۲-۱-۱- انواع دستگاه‌های گازسنج

۲-۱-۱-۱- دستگاه گاز سنج BW GasAlertMax XT II

دستگاه ساخت شرکت Honeywell دارای پمپی هوشمند و مانیتور چهار بخشی است که غلظت گازهای مختلف را توسط سنسورهای قوی، آشکارسازی می‌کند. مراحل مربوط به تعویض فیلترها و نام‌گذاری قطعات مختلف دستگاه به ترتیب در شکل ۲-۱ و جدول ۲-۱ نشان داده شده است. ابتدا پیچ دستگاه از ورودی پمپ باز شده و به آرامی مطابق تصویر با زاویه ۴۵ درجه به سمت بیرون کشیده می‌شود. سپس ورودی پمپ به آرامی به سمت بالا جدا می‌شود. فیلتر ذرات داخل ورودی پمپ و فیلتر رطوبت در محفظه‌ی عقب قرار دارد. در این مرحله فیلترهای قدیمی تعویض می‌شوند، محفظه‌ی فیلتر در جای خود قرار گرفته و پیچ به‌گونه‌ای بسته می‌شود که گشتاور بیش از حد موجب سفت شدن یا آسیب به آن نگردد[2]. شکل ۲-۲ تصویر فیلترهای مورد استفاده در قسمت پمپ دستگاه که توسط شرکت رادین فرادید پترو صنعت ساخته می‌شود را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱- شماتیک دستگاه گازسنج GasAlertMax XT II

جدول ۲-۱- قطعات دستگاه گازسنج GasAlertMax XT II برای تعویض پمپ فیلتر

شماره	Description	شرح
۱	Rear shell	بدنه پشت
۲	Moisture filter	فیلتر رطوبت
۳	Pump quick connector	کانکتور پمپ
۴	Pump inlet	ورودی پمپ
۵	Machine screw	پیچ دستگاه
۶	Particulate filter	فیلتر ذرات

شکل ۲-۲- فیلترهای مورد استفاده در دستگاه گاز سنج GasAlertMax XT II

۲-۱-۱-۲- دستگاه گازسنج Honeywell BW ultra

دستگاه گازسنج BW ultra از جمله جدیدترین دستگاه‌های طراحی شده توسط کمپانی Honeywell است که توانایی شناسایی همزمان پنج گاز سمی و خطرناک بالاتر از محدوده‌ی تعیین شده استاندارد را دارد. این دستگاه توانایی تشخیص چهار گاز اصلی (از جمله H_2S، CO، O_2 و LEL) و یک گاز انتخابی (از جمله H_2، SO_2، CO_2، NH_3، VOC، Cl_2، NO_2، HCN، NO و CO-H) را دارد. شکل ۲-۳ روش تعویض فیلترهای پمپ را مرحله به مرحله نشان می‌دهد[3].

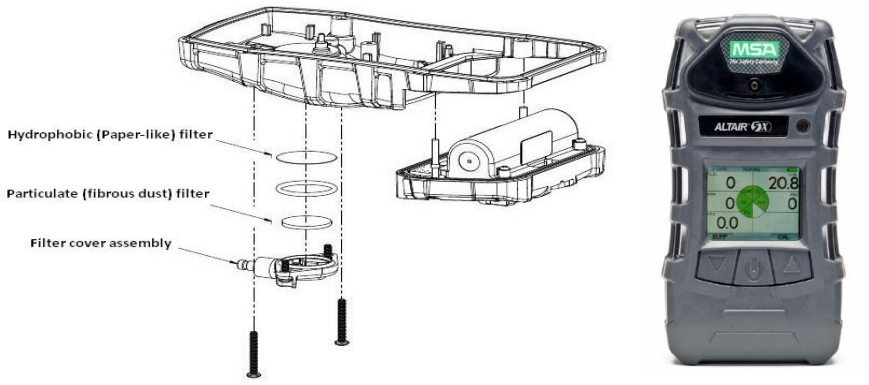
شکل ۲-۳- مراحل تعویض فیلتر : ۱) دستگاه را خاموش کرده و پیچ کنار آن را باز کنید. ۲) درپوش ورودی محفظه را در جهت عقربه‌های ساعت باز کنید. ۳) درپوش ورودی را جدا کرده و ۴) هر دو فیلتر ذرات و رطوبت را جدا کرده و فیلترهای جدید را جایگزین کنید. ۵) در نهایت دوباره درپوش را سرجای خود قرار داده و پیچ را ببندید.

۲-۱-۱-۳- دستگاه گازسنج MSA ALTAIR 5X

گازسنج ALTAIR 5X ساخت شرکت MSA[6] قادر است به طور همزمان تا ۶ گاز را اندازه گیری کند و با سنسور PID یکپارچه برای تشخیص ترکیبات آلی فرار[7] در دسترس می‌باشد. این آشکارساز که توسط فناوری پیشرفته سنسور MSA XCell هدایت می‌شود، زمان پاسخگویی سریع‌تر، پایداری، دقت، عمر طولانی‌تر و صرفه‌جویی در هزینه ارائه می‌دهد.

شکل ۲-۴ تصویر دستگاه و محل جایگذاری فیلترها را نشان می‌دهد. برای تعویض فیلترها، ابتدا (۱) دستگاه خاموش می‌گردد. (۲) هر دو پیچ قرار گرفته روی محفظه شفاف فیلتر باز شده، سپس (۳) واشر[8] و فیلتر با دقت بیرون آورده می‌شود، (۴) از فیلتر هیدروفوبیک [فیلتر نازک‌تر] و فیلتر ذرات نمدی شکل [فیلتر ضخیم‌تر] استفاده می‌شود. (۵) فیلتر هیدروفوبیک جدید در شکاف پشت دستگاه قرار گرفته و فیلتر ذرات در پوشش شفاف فیلتر قرار می‌گیرد. (۶) واشر را در محل خود قرار داده و (۷) در نهایت دوباره محفظه فیلتر در پشت دستگاه بسته می‌شود[4]. شکل ۲-۵ تصویر فیلترهای مورد استفاده در دستگاه گازسنج که توسط شرکت رادین فرادید تولید شده را نشان می‌دهد.

[6] Mine Safety Appliances
[7] VOC
[8] O-ring



شکل ۲-۴- دستگاه گاز سنج MSA ALTAIR5X و نحوه جایگذاری فیلترها

شکل ۲- ۵- فیلترهای مورد استفاده در دستگاه گاز سنج MSA ALTAIR5X.

۲-۱-۱-۴- دستگاه گازسنج ALTAIR 4X

دستگاه گازسنج چهار گازه MSA مدل ALTAIR 4X نوعی آشکارساز بسیار بادوام گاز است. که می‌تواند حجم چهار گاز را به طور هم‌زمان بسنجد. که این گازها شامل گازهای قابل‌احتراق LEL ، اکسیژن O_2، مونوکسید کربن CO ، سولفید هیدروژن H_2S می باشد.

این آشکارساز قابل‌حمل و چندکاره ابزاری مناسب برای صنایع مختلف مانند آتش‌نشانی، نفت و گاز، معادن و جوشکاری است. خروجی حسگر دیجیتال آن از بروز تداخلات رادیویی جلوگیری می‌کند. یکی از ویژگی‌های منحصربه‌فرد دستگاه گازسنج چهارگازه MSA ALTAIR 4X حالت هشدار حرکت (MotionAlert) است که دیگران را از بی‌حرکت بودن کاربر آگاه می‌کند. ویژگی دیگر این دستگاه، هشدار سریع (InstantAlert) است که دیگران را از شرایط بالقوه خطرناک باخبر می‌کند. استحکام این دستگاه به‌گونه‌ای است که در صورت سقوط از ارتفاع تا ۶ متر آسیب نمی‌بیند. مقدار مصرف گاز کالیبراسیون آن حدود نصف مقدار متوسط صنعتی است.

شکل ۲-۶ دستگاه گازسنج چهارگازه MSA ALTAIR 4X را نشان می‌دهد. محفظه فیلتر این دستگاه به گونه‌ای طراحی شده است که فیلترهای آن بر روی کاور جلویی[9] محفظه دستگاه قرار دارند و با شماره شناسه‌ی قطعه‌ی ۱۰۱۱۰۰۳۰ و ۱۰۱۱۰۰۲۹ در دسترس هستند. در صورتی که هدف تعویض فیلتر دستگاه باشد و کاور دستگاه آسیبی ندیده باشد، به ناچار هزینه خرید افزایش می‌یابد[5]. بدین منظور شرکت رادین فرادید پترو صنعت به طور جداگانه‌ی فیلترهای مذکور را در دسترس قرار داده است که در شکل ۲-۷ نشان داده شده است.

شکل ۲-۶- دستگاه گاز سنج MSA ALTAIR4X و محل قرارگیری فیلترها

[9] Front housing with integrated dust filters

شکل ۲-۷- فیلترهای مورد استفاده در دستگاه گاز سنج MSA ALTAIR4X

۲-۱-۱-۵- دستگاه گازسنج Orion Multigas

آشکارساز چندگازی Orion® و OrionPlus از دیگر دستگاه های ساخت شرکت MSA ، برای استفاده توسط پرسنل آموزش دیده و واجد شرایط مورد استفاده قرار می‌گیرند. این آشکارساز، برای استفاده در هنگام انجام ارزیابی خطر برای مواردی همچون قرار گرفتن کارگران در معرض گازها، بخارات قابل احتراق و سمی و همچنین پایش میزان گاز و بخار مورد نیاز برای تعیین محل کار مناسب طراحی شده است.

آشکارساز چند گازی Orion® را می‌توان برای تشخیص گازها و بخارات قابل احتراق، اتمسفرهایی با کمبود یا غنی از اکسیژن و گازهای سمی خاصی که برای آنها سنسور نصب شده است، مورد استفاده قرار داد.

این آشکارساز دارای یک سیستم فیلتر برای محافظت از پمپ در برابر ذرات و رطوبت موجود در هوای نمونه می‌باشد. اگر فیلتر مسدود شود، جریان نمونه ممکن است مسدود شده و بار اضافی روی پمپ وارد شود. بنابراین، لازم است فیلتر به طور منظم بررسی شود. دفعات بررسی و تعویض فیلتر به مدت زمان روشن بودن پمپ و غلظت ذرات مجاز برای ورود به پمپ بستگی دارد. با توجه به دفترچه‌ی راهنمای دستگاه برای گازسنجی در محیط‌هایی با آلایندگی بالا[10]، تعویض فیلترها حداکثر هر ۲۰۰ ساعت یکبار ضرورت دارد[7] ,[6].

[10] Dirty applications

هنگام تعویض فیلترهای خارجی گرد و غبار و رطوبت، از ورود گرد و غبار یا کثیفی اطراف محفظه فیلتر به داخل محفظه پمپ جلوگیری کنید. گرد و غبار یا کثیفی در محفظه پمپ ممکن است عملکرد پمپ را مختل کند.

برای تعویض فیلترهای گرد و غبار و رطوبت این دستگاه به جدول ۲-۲ و تصویر ۲-۸ دقت شود. مطابق تصویر، چهار عدد پیچ (۲۴) را از محفظه شفاف فیلتر (۲۳) در پشت دستگاه باز کرده، فیلتر گرد و غبار فیبری (۲۱) را از شکاف محفظه فیلتر خارج کرده، سپس فیلتر جدید گرد و غبار را با دقت در فرورفتگی محفظه فیلتر نصب و محفظه فیلتر مجدد بسته می‌شود.

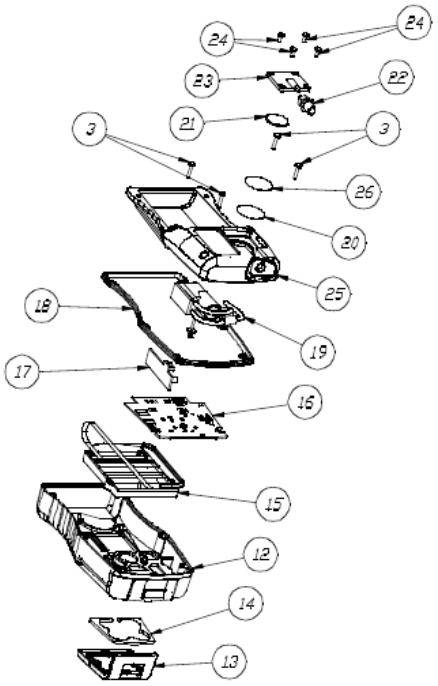
برای تعویض فیلتر رطوبت پس از باز کردن محفظه، واشر(۲۶) و فیلتر رطوبت (سفید رنگ) (۲۰) را با دقت بیرون آورده و فیلتر رطوبت جدید در فرورفتگی محفظه فیلتر قرار داده شود. در هنگام تعویض ، فیلتر جدید را از لبه های آن به دقت گرفته، تا آسیبی به آن وارد نشود، چرا که ممکن است به راحتی پاره شوند. فیلترها را به ترتیب صحیح مطابق شکل قرار داده، پس از آن، واشر (۲۶) را با اندکی فشار سرجای خود روی فیلتر رطوبت قرار داده تا از جایگذاری آن مطمئن شده؛ در نهایت درپوش محفظه و پیچ ها بسته می‌شود[6].

نوع دیگری از آشکارساز چند گازی Orion، علاوه بر فیلترهای ذکر شده، حاوی یک فیلتر داخلی "فایروال"[11] نیز می‌باشد. در واقع این فیلتر بیانگر اهمیت فیلتراسیون بر دقت و عملکرد دستگاه گازسنج است. چرا که سازنده دستگاه این فیلتر داخلی را به عنوان مانعی نهایی در برابر هرگونه گرد و غبار ناخواسته که هنگام تعویض فیلترهای خارجی وارد محفظه‌ی پمپ شده، قرار داده است. در واقع، فیلتر " فایروال " به عنوان یک اقدام احتیاطی نهایی ارائه شده است و درصورتی که فیلترهای خارجی به موقع و با دقت تعویض شوند، این فیلتر داخلی به ندرت، و یا هرگز، نیاز به تعویض دارد.

جدول ۲-۲- نامگذاری قطعات مختلف دستگاه گازسنج Orion

20	Filter Disc
21	Dust filter, package of five
22	Inlet Fitting
23	Filter Cover
24	Filter Cover Screws
25	Case Rear, Pumped (pumped version only) (non-saleable)
	Case Rear, Diffusion (diffusion version only) (non-saleable)
26	Filter Cover O-ring
27	Internal backup filter (not shown)

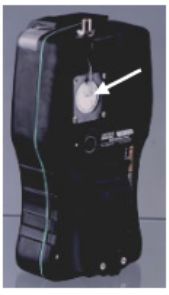
[11] Internal “Firewall” Filter



شکل ۲-۸- محل جایگذاری قطعات مختلف دستگاه گازسنج Orion

همچنین در دفترچه راهنمای دستگاه $Orion^{Plus}$ نیز اشاره شده که فیلتر از مسیر گاز و پمپ در برابر آلودگی نیز محافظت می‌کند. فیلترهای کثیف و کارکرده می‌توانند جریان گاز را مسدود کرده و موجب اعمال بار اضافه بر روی پمپ شود. این امر می‌تواند منجر به خواندن اشتباه آشکار ساز و خطا در اندازه گیری شود.

Filter condition:	Filter change:
Discoloration of the filter	immediately
Heavy exposure to dust	after 200 hours



(1) Remove the four filter cover screws on the rear of the instrument.
(2) Carefully lift the filter cover.
(3) Remove the old filter and replace it with a new one.
(4) Replace the filter cover and tighten the four screws.

شکل ۲-۹- مدت زمان پیشنهادی توسط کاتالوگ دستگاه برای تعویض فیلتر آن

همانطور که از تصویر ۲-۹ برگرفته از دفترچه راهنمای دستگاه مشخص است، در صورت تغییر رنگ فیلتر، باید بلافاصله تعویض گردد و در صورتی که گازسنجی در محیطی با آلایندگی بالا انجام شود، حداکثر پس از ۲۰۰ ساعت فیلترها تعویض گردد[6].

در ادامه جهت بررسی بیشتر و مطالعات دقیق‌تر با توجه به سایر منابع علمی، اهمیت تعویض فیلترها و تاثیر آن بر عملکرد فیلتراسیون مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۲-۱-۲- فیلتراسیون در گاز سنجی

همان‌طور که مشخص است فیلترها به عنوان خط مقدم فرآیندهای جداسازی در ورودی دستگاه‌های گازسنج قرار دارد که موجب محافظت و دقت در آشکارسازی گازهای مورد نظر می‌شود؛ جهت بررسی بهتر اهمیت فیلترها در گازسنجی سوالاتی به شرح زیر مطرح می‌شود.

- دلیل اهمیت تعویض به‌موقع فیلترها چیست؟
- با توجه به نحوه‌ی طراحی دستگاه توسط سازندگان آن، آیا تعویض فیلتر و باز کردن محفظه‌ی آن فرآیندی دشوار است؟
- چرا عموماً در دستگاه‌های گازسنج از دو فیلتر رطوبت و ذرات به صورت هم‌زمان استفاده می‌شود؟

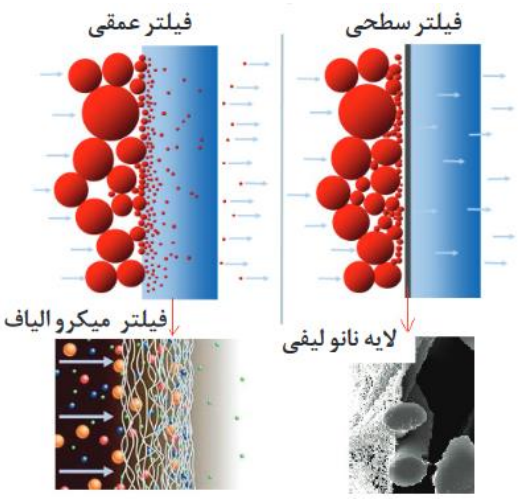
برای پاسخ به سوالات مطرح شده، در ادامه فرآیند فیلتراسیون، نحوه‌ی تعویض و نوع فیلترهای پرکاربردترین دستگاه‌های گازسنج و همچنین اهمیت تاثیر پارامترهایی همچون رطوب، دما و گرد و غبار بر کارکرد فیلتر و دستگاه آورده شده است.

عوامل مهمی در فیلتراسیون نقش دارند که در انتخاب نوع فیلتر و کارکرد آن مؤثر هستند، که از این عوامل می‌توان به اندازه حفرات فیلتر و حجم ذرات باقی‌مانده در پشت فیلتر می‌باشد.

- **اندازه حفرات فیلتر:** همان‌طور که مشخص است، مواد و ذراتی که اندازه بزرگ‌تری نسبت یه حفرات فیلتر دارند، در پشت آن باقی می‌مانند و عبور نمی‌کنند، در نتیجه، برای جداسازی ذرات با اندازه مشخص باید از فیلترهای مناسب استفاده کرد. در مناطق صنعتی با آلایندگی بالا، ذرات با اندازه های ۱ تا ۱۰۰۰۰ میکرون وجود دارند، که استفاده از فیلترهای معمولی با اندازه‌ی حفرات ۱۰۰ میکرون نمی‌تواند ذرات با اندازه‌های کمتر از آن را حذف کند لذا به دستگاه و تجهیزات آسیب وارد می‌شود. همچنین ذرات کوچکتر، معمولا در عمق فیلتر به دام می افتند که به مرور زمان باعث بسته شدن منافذ فیلتر وکاهش عبور هوای ورودی به سنسور دستگاه شده که موجب خطای اندازه‌گیری و نهایتا کاهش ضریب ایمنی می‌گردد[8].
- **حجم ذرات باقیمانده در پشت فیلترها:** ذراتی که در پشت فیلتر باقی می‌مانند به مرور زمان و با استفاده مداوم از فیلتر بیشتر و بیشتر می‌شوند که باعث مسدود شدن روزنه‌های فیلتر میگردد. به این دلیل، باید بعد از مدت زمان مشخصی، فیلترها را تعویض نمود. این مسئله که به گرفتگی فیلتر معروف می‌باشد از اهمیت زیادی برخوردار است.

فرآیند فیلتراسیون در دستگاه‌های گازسنج از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است و فیلترها نقش محوری این فرآیند را برعهده دارند. بسته به نوع تجهیز، از ابعاد و جنس های متفاوت فیلتر استفاده می‌شود. در واقع حذف آلاینده های ورودی دستگاه همچون گرد و غبار و رطوبت،

باعث افزایش طول عمر و بهبود عملکرد گازسنج خواهد شد و خطای احتمالی را کاسته و در نتیجه‌ی آن مخاطرات احتمالی را کاهش می‌دهد و موجب افزایش ایمنی می‌گردد.



شکل ۲-۱۰- تفاوت فیلتراسیون سطحی و عمقی

عملکرد دستگاه‌های گازسنج، از طریق مکش هوا و هدایت آن به محفظه‌ی سنسور دستگاه می‌باشد، در نهایت، دستگاه مقدار و نوع گاز را نشان می‌دهد. ورود گرد و غبار (ذرات آلاینده) و رطوبت به دستگاه، باعث مسدود شدن عبور گاز، انسداد پمپ دستگاه، کاهش جریان[۱۲] ورودی به سنسورها خواهد شد که باعث کاهش دقت دستگاه، از بین رفتن تنظیمات اولیه‌ی آن و در نهایت خاموش شدن دستگاه می‌شود[2].

از آنجایی که در گازسنجی دو عامل ذرات معلق و رطوبت، به عنوان عوامل مخرب محسوب می شوند، سازنده‌گان دستگاه‌های گازسنج (بطور مثال دستگاه های گازسنج مدل GasAlertMax XT II، ALTAIR 5X و Orion Multigas)، دو فیلتر (فیلتر ذرات و فیلتر هیدروفوبیک) در ورودی دستگاه تعبیه کرده‌اند. عملکرد فیلتر باید به گونه‌ای باشد که از عبور ذرات معلق و رطوبت به محفظه دستگاه و سنسور جلوگیری کند تا خطای اندازه‌گیری رخ ندهد و در نهایت موجب کاهش صدمه به پمپ و سنسور دستگاه شود. در نتیجه موجب کاهش استهلاک دستگاه و افزایش ایمنی می‌شود. شکل ۲-۱۰ تفاوت دو فیلتراسیون عمقی و سطحی را نشان می‌دهد.

[12] Flow

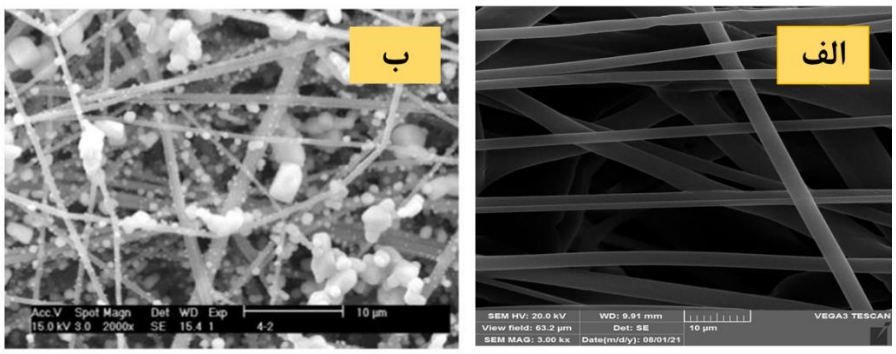
۲-۲- طول عمر فیلتر

۲-۲-۱- بررسی عوامل تاثیرگذار بر طول عمر فیلتر

از عوامل تاثیرگذار روی عملکرد فیلتر می‌توان به شرایط آب و هوایی همچون دما، رطوبت و میزان ذرات آلاینده در محیط اشاره کرد. این عوامل محیطی با تغییر فشار و میزان اکسیژن موجود در جو بر خوانش سنسور اثر خواهد گذاشت[9].

فیلتراسیون فرآیندی است که طی آن ذرات جامد معلق از یک فاز مایع و یا گاز توسط فیلتر مناسب جدا می‌شوند. در فرایند فیلتراسیون جدایش از طریق ماندن ذرات درشت‌تر از حفرات، در پشت و یا عمق فیلتر رخ می‌دهد. فیلترهای نوین به‌گونه‌ای طراحی می‌شوند که بتوانند علاوه بر ذرات از عبور رطوبت نیز جلوگیری کنند.

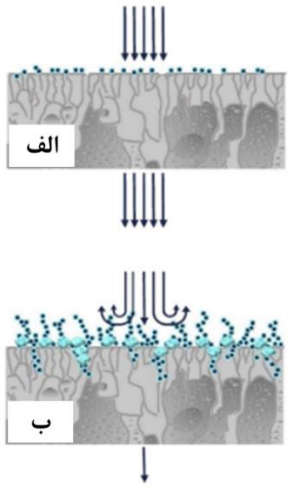
شکل ۲-۱۱ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی مربوط به فیلتر با عملکرد بالا، قبل و بعد از استفاده را نشان می‌دهد. همانطور که در تصویر مشخص است، آلاینده‌ها در درون فیلتر گیر کرده و بر عملکرد کلی فیلتر تاثیرگذاشته است، همچنین باعث پر شدن منافذ فیلتر و عدم راحتی عبور هوا و مخلوط گازی به دستگاه شده است.



شکل ۲-۱۱- الف) تصویر میکروسکوپ الکترونی از الیاف قبل از استفاده و ب) از الیاف فیلتر استفاده شده همراه با آلودگی

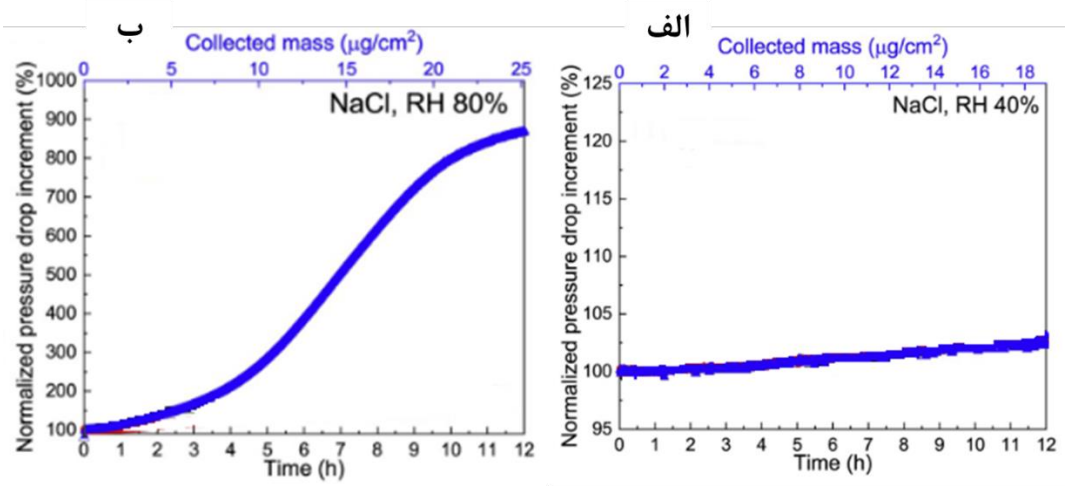
مطالعات نشان می‌دهد که ۲۰ تا ۷۰ درصد ذرات معلق موجود در اتمسفر را ذرات آبدوست[13] تشکیل می‌دهد. در واقع ذرات آبدوست همچون نمک طعام، سولفات آمونیوم و نیترات آمونیوم، به ذراتی اطلاق می‌شوند که توانایی جذب مولکول آب از فضای پیرامون و نگهداری آن را دارند. این ذرات در محیط‌هایی با رطوبت بالا، آب را به خود جذب کرده و تشکیل قطره می‌دهند. عملکرد فیلترهای آبگریز در شرایط حضور ذرات آبدوست در شکل ۲-۱۲ نشان داده شده است. برای فیلترهای متخلل آبگریز، این ذرات آبدوست دفع شده و در ابتدا تشکیل فیلمی از آب نمی‌دهند در نتیجه افت فشار اولیه رخ نمی‌دهد اما به مرور زمان با جلوگیری فیلتر از عبور قطرات آب و رطوبت و پیوستن ذرات قطره‌ای شکل به یکدیگر، این قطرات تشکیل فیلم (لایه) روی سطح فیلتر می‌دهد که موجب عدم عبور جریان هوا و افزایش افت فشار می‌شود.

[13] Hygroscopic Particles



شکل ۲- ۱۲- عملکرد فیلتر آبگریز در حضور ذرات آبدوست

برای نشان دادن تاثیر افزایش رطوبت نسبی بر افت فشار فیلتر، مطالعات متعددی صورت گرفته است. نمودار شکل ۲-۱۳، درصد افزایش افت فشار نسبت به زمان و وزن ذرات جمع آوری شده در فیلتر، تحت شرایط رطوبت نسبی ۴۰ و ۸۰ درصد در حضور ذرات آبدوست و استفاده از فیلتر آبگریز در مدت زمان ۱۲ ساعت کارکرد فیلتر را نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است، پس از گذشت ۱۲ ساعت، در رطوبت نسبی ۴۰٪ و ۸۰٪، افت فشار به ترتیب حدود ۴٪ و ۸۷۰٪ افزایش می‌یابد. کاملاً مشخص است که افزایش رطوبت نسبی محیط، منجر به افزایش افت فشار فیلتر می‌شود که اهمیت تعویض سریع فیلترها در محیط با رطوبت بالا را نشان می‌دهد[10].



شکل ۲-۱۳- نمودار درصد افزایش افت فشار نسبت به زمان و وزن ذرات جمع آوری شده در فیلتر، تحت شرایط رطوبت نسبی الف) ۴۰ و ب) ۸۰ درصد در حضور ذرات آبدوست و استفاده از فیلتر آبگریز در مدت زمان ۱۲ ساعت کارکرد فیلتر

نتایج تحقیق صورت گرفته در زمینه تاثیر رطوبت بر شرایط فیلتراسیون نشان می‌دهد که در دماهای بیشتر از ۳۳ درجه سانتی‌گراد، با افزایش رطوبت، عملکرد فیلتر به شدت کاهش می‌یابد [۱۱]. با توجه به دفترچه راهنمای گازسنج، اگر رطوبت به میزان قابل توجهی تغییر کند [به عنوان مثال، رفتن از یک محیط خشک و دارای تهویه مطبوع به هوای آزاد و دارای رطوبت در فضای باز]، به دلیل بخار آب موجود در هوا که اکسیژن را جابجا می‌کند، قرائت های اکسیژن را می‌توان تا ۰.۵ درصد کاهش داد. سنسور اکسیژن دارای یک فیلتر مخصوص برای کاهش اثرات تغییرات رطوبت بر روی خوانش اکسیژن است. این اثر فوراً متوجه نخواهد شد، اما به آرامی در طول چند ساعت بر روی خوانش اکسیژن تأثیر می گذارد. در واقع فیلترهای آبگریز به این دلیل استفاده می‌شوند که آب و رطوبت وارد دستگاه نشده و به دستگاه آسیب نرساند و حضور رطوبت موجب خطای اندازه گیری سنسور، بخصوص سنسور اکسیژن نگردد. لذا با توجه به موارد ذکر شده، تعویض دیرهنگام فیلتر نیز به دلیل پر شدن منافذ فیلتر و ایجاد فیلم رطوبت، موجب عدم عبور مناسب جریان به دستگاه و فشار به پمپ دستگاه می‌شود، که نتیجه آن خطا در اندازه گیری و استهلاک دستگاه می‌باشد[9].

طبق بررسی‌های صورت گرفته در دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۰ ٪ فشار بخار آب ۰ بوده است. اما در شرایط پایین بودن دما مثلا در دمای ۲۴ درجه سانتی گراد و همچنین داشتن رطوبت ۴۵٪ میزان فشار بخار تا ۱۳۴۷ پاسکال افزایش یافته است. بررسی‌های صورت گرفته حاکی از آن است که در دمای ۱۵۰ درجه سانتی گراد با وجود مقدار بسیار جزیی رطوبت در هوا ۳٪، فشار بخار آب به شدت افزایش یافته و در محدوده ۱۴۲۸۵ پاسکال قرار می‌گیرد. با بالا رفتن دما و رطوبت، این آب بخار شده و قطرات آن همچون پلی بین ذرات قرار گرفته، باعث بسته شدن حفرات فیلتر شده و از عبور گازها جلوگیری کرده که در ادامه افت فشار فیلتر را به دنبال خواهد داشت[12].

۲-۲-۲- شاخص کیفیت هوا (Air Quality Index)

AQI به طور کلی شاخصی جهت گزارش روزانه کیفیت هوا است .این شاخص مردم را از کیفیت هوا(پاک بودن یا آلوده بودن آن)آگاه می‌سازد و اثرات سلامتی مرتبط با آن را ارائه می‌کند. به عبارت دیگر AQI به اثرات سلامتی ناشی از مواجهه با هوای آلوده(ناسالم)می پردازد. شاخص کیفیت هوا (AQI) برای پنج آلاینده اصلی هوا یعنی ذرات معلق، دی‌اکسیدنیتروژن، ازن سطح زمین، منوکسیدکربن و دی‌اکسیدگوگرد محاسبه می شود.

شاخص کیفیت هوا (AQI) توسط آژانس های حفاظت محیط زیست در سراسر جهان استفاده شده است. مقیاسی از آلودگی هوا برای نشان دادن سطوح آن برای آگاه کردن مردم در اطراف یک منطقه برای تنظیم فعالیت‌های خود در فضای باز برای جلوگیری از خطر آلودگی ناشی از آلودگی است. AQI بر اساس زمان واقعی محاسبه می‌شود تا یک مقیاس عددی با کد رنگی که در چندین محدوده خاص طبقه بندی می‌شود، تشکیل شود.

۲-۲-۳- نحوه محاسبه شاخص

به منظور محاسبه شاخص AQI از رابطه زیر استفاده می‌شود. پارامتر های مورد استفاده در رابطه (۱) از جدول ۲-۳ پیوست[13] که نقاط شکست برای AQI را نشان می‌دهند ،بدست می‌آید

$$I_p = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}}(C_P - BP_{Lo}) + I_{Lo} \qquad (۱)$$

در این رابطه:

I_p= شاخص کیفیت هوا (AQI) برای آلاینده p است.

C_p= غلظت اندازه گیری شده (گِرد شده) برای آلاینده p است.

BP_{Hi}= نقطه شکستی که بزرگ‌تر یا مساوی C_p است.

BP_{Lo}= نقطه شکستی که کوچک‌تر یا مساوی C_P باشد.

I_{Hi}= مقدار AQI منطبق با BP_{Hi}.

I_{Lo} = مقدار AQI منطبق با BP_{Lo} است.

شاخص کیفیت هوا برای آلاینده‌های هوای بیرون یا داخل خانه را می‌توان با استفاده از فرمول درونیابی خطی زیر محاسبه کرد:

$$I_p = I_{ll} + \left((C_p - BP_{ll}) \times \frac{I_{ul} - I_{ll}}{BP_{ul} - BP_{ll}}\right)$$

که در اینجا I_p شاخص آلودگی p، C_p غلظت آلودگی و (BP_{ll}) BP_{ul} نقطه شکست بزرگتر (کمتر) از یا مساوی C_p است و (I_{ll}) I_{ul} مقدار شاخص مربوط به (BP_{ll}) BP_{ul} است[14].

جدول ۲-۳- مقایسه نقاط شکست AQI

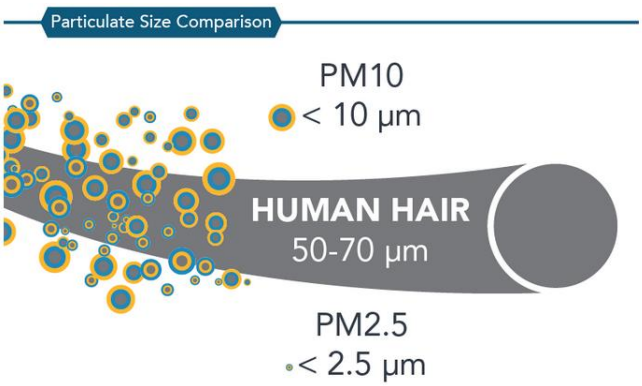
طبقه بندی کیفیت هوا	AQI	NO_2 (ppm) یک ساعته	SO_2 (ppm) ۲۴ ساعته	CO (ppm) هشت ساعته	PM_{10} (µg/m³) ۲۴ ساعته	$PM_{2.5}$ (µg/m³) ۲۴ ساعته	O_3 (ppm) یک ساعته	O_3 (ppm)[1] هشت ساعته
		نقاط شکست						
خوب	۰-۵۰	۰-۰/۰۵۳	۰/۰۰۰-۰/۰۳۴	۰/۰-۴/۴	۰-۵۴	۰/۰-۱۵/۴	-	۰-۰/۰۵۹
متوسط	۵۱-۱۰۰	۰/۰۵۴-۰/۱	۰/۰۳۵-۰/۱۴۴	۴/۵-۹/۴	۵۵-۱۵۴	۱۵/۵-۳۵/۰	-	۰/۰۶۰-۰/۰۷۵
ناسالم برای گروه‌های حساس	۱۰۱-۱۵۰	۰/۱۰۱-۰/۳۶۰	۰/۱۴۵-۰/۲۲۴	۹/۵-۱۲/۴	۱۵۵-۲۵۴	۳۵/۱-۶۵/۴	۰/۱۲۵-۰/۱۶۴	۰/۰۷۶-۰/۰۹۵
ناسالم	۱۵۱-۲۰۰	۰/۳۶۱-۰/۶۴۰	۰/۲۲۵-۰/۳۰۴	۱۲/۵-۱۵/۴	۲۵۵-۳۵۴	۶۵/۵-۱۵۰/۴	۰/۱۶۵-۰/۲۰۴	۰/۰۹۶-۰/۱۱۵
خیلی ناسالم	۲۰۱-۳۰۰	۰/۶۵- ۱/۲۴	۰/۳۰۵-۰/۶۰۴	۱۵/۵-۳۰/۴	۳۵۵-۴۲۴	۱۵۰/۵-۲۵۰/۴	۰/۲۰۵-۰/۴۰۴	۰/۱۱۶-۰/۳۷۴
خطرناک	۳۰۱-۴۰۰ ۴۰۱-۵۰۰	۱/۲۵-۱/۶۴ ۱/۶۵-۲/۰۴	۰/۶۰۵-۰/۸۰۴ ۰/۸۰۵-۱/۰۰۴	۳۰/۵-۴۰/۴ ۴۰/۵-۵۰/۴	۴۲۵-۵۰۴ ۵۰۵-۶۰۴	۲۵۰/۵-۳۵۰/۴ ۳۵۰/۵-۵۰۰/۴	۰/۴۰۵-۰/۵۰۴ ۰/۵۰۵-۰/۶۰۴	[2]

[1] در بیشتر مناطق AQI براساس مقادیر ازن هشت ساعته گزارش می‌شود اما در برخی از مناطق AQI براساس مقادیر ازن یک‌ساعته به احتیاط نزدیکتر است. در این شرایط AQI می‌بایست هم برای مقادیر ازن هشت ساعته و هم برای مقادیر ازن یک‌ساعته محاسبه شود هر کدام بیشتر بود گزارش شود.

[2] وقتی غلظت ازن هشت ساعته از ۰/۳۷۴ ppm فراتر رود مقدار AQI، ۳۰۱ یا بالاتر باید. با استفاده از غلظت ازن یک ساعته محاسبه شود.

ذرات معلق در هوا (PM) یک آلاینده واحد نیست، بلکه مخلوطی از بسیاری از گونه‌های شیمیایی است. این مخلوط شامل از جامدات و ذرات معلق در هوا است که از قطرات کوچک مایع، قطعات جامد خشک و هسته‌های جامد با پوشش‌های مایع تشکیل شده است. ذرات از نظر اندازه، شکل و ترکیب شیمیایی بسیار متفاوت هستند و ممکن است حاوی یون‌های معدنی، ترکیبات فلزی، کربن عنصری، ترکیبات آلی و ترکیباتی از پوسته زمین باشند. ذرات با قطر آنها برای اهداف نظارتی کیفیت هوا تعریف می‌شوند. ذرات با قطر ۱۰ میکرون یا کمتر (PM_{10}) قابل استنشاق در ریه ها هستند و می توانند اثرات نامطلوبی برای سلامتی ایجاد کنند. ذرات ریز به عنوان ذرات با قطر ۲.۵ میکرون یا کمتر ($PM_{2.5}$)تعریف می‌شود. بنابراین، $PM_{2.5}$ شامل بخشی از PM_{10} است.

تفاوت بین PM_{10} و $PM_{2.5}$ چیست؟ PM_{10}و $PM_{2.5}$ اغلب از منابع انتشار مختلف ناشی می‌شوند و همچنین دارای ترکیبات شیمیایی متفاوتی هستند. انتشارات ناشی از احتراق بنزین، نفت، سوخت دیزل یا چوب، ایجاد ذرات $PM_{2.5}$ را به دنبال دارد و همچنین ذرات PM_{10} شامل گرد و غبار از محل‌های ساختمانی، محل‌های دفن زباله و کشاورزی، آتش‌سوزی‌های جنگلی و سوزاندن زباله‌ها، منابع صنعتی، گرد و غبار ناشی از باد و زمین‌های باز، گرده‌ها و تکه‌های باکتری است. تصویر ۲-۱۴ مقایسه‌ی اندازه‌ی ذرات PM_{10} و $PM_{2.5}$ را نشان می‌دهد[16] ,[15].



شکل ۲-۱۴-مقایسه سایز ذرات آلاینده هوا در برابر قطر موی انسان

Humidex -۴-۲-۲

همان‌طور که گفته شد شاخص رطوبت شاخصی است که توسط هواشناسان کانادایی استفاده می‌شود و بیان می‌کند که یک فرد متوسط, دمای هوا را چگونه حس می‌کند. در این شاخص دو عامل حرارت و رطوبت هوا در نظر گرفته می‌شود. این شاخص یک کیمیت بدون واحد بوده و معادل دمای خشک بر مبنای سانتی‌گراد است. بر این اساس، humidex به صورت زیر محاسبه می شود:

$$h = T + \frac{5}{9} \times \left(6.112 \times 10^{7.5 \times \frac{T}{237.7+T}} \times \frac{RH}{100} - 10\right)$$

که در آن T دمای هوا بر حسب C° و RH رطوبت نسبی بر حسب درصد است. رتبه بندی Humidex را می‌توان در جدول ۲-۴ خلاصه کرد. پیشنهاد شده است که شاخص کیفیت هوا (AQI) را با humidex بهبود دهیم تا زمان مناسب برای تعویض فیلتر به دست آید[14].

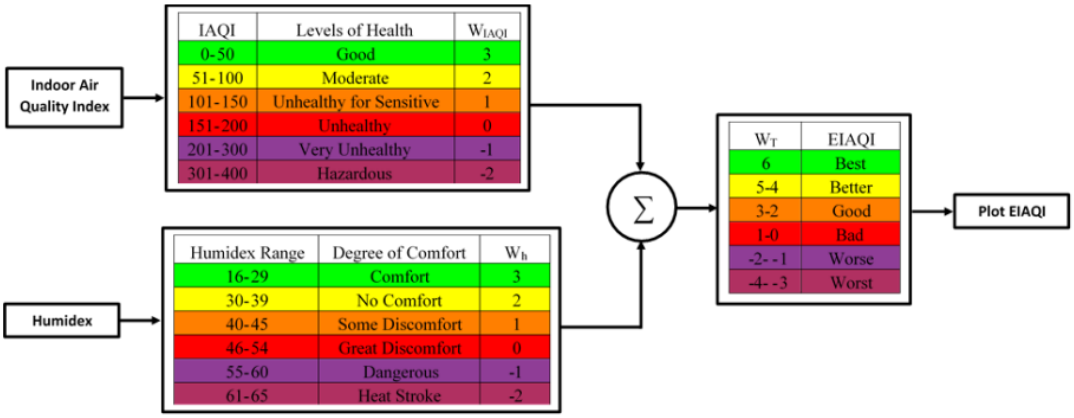
جدول ۲-۴- معیار Humidex

<29	Dry
30-39	Comfortable
40-44	Sticky
45-55	Uncomfortable
>55	Miserable

۲-۲-۵- تعریف EAQI

به منظور وارد کردن اثرات دما و رطوبت در بررسی شاخص کیفیت هوا، شاخص تکامل یافته‌ی (Enhanced AQI) معرفی شده است. این شاخص با دادن وزن‌هایی بین ۲- تا ۳ که با علائم W_{IAQI} و W_h به هر یک از پارامترهای AQI و humidex اثرات آن‌ها را در میزان آلودگی هوا و زمان تعویض فیلتر مشخص می‌کند. محاسبه این شاخص جدید توسط فرمول زیر صورت می‌گیرد[14]. شکل ۲-۱۵ فلوچارت کلی برای محاسبه شاخص تکامل یافته را نشان می‌دهد.

$$EIAQI = (W_h \times h) + (W_{IAQI} \times IAQI)$$
$$W_T = W_h + W_{IAQI},$$



شکل ۲- ۱۵- نحوه محاسبه EAQI و اثرات وزن‌های پارامترهای AQI و Humidex [14]

۲-۲-۶- نحوه‌ی محاسبه مدت زمان تعویض فیلتر براساس گزارشی از تهران

❖ مثال : بررسی ظرفیت و زمان تعویض فیلتر در دستگاه گازسنج BW .

براساس گزارشات، میزان آلودگی ذرات PM_{10} در شهر تهران ۱۰۰ میکرو گرم بر متر مکعب در نظر گرفته شده است. همچنین طبق نتایج آزمایش فیلتر، ظرفیت فیلتر تولیدی شرکت رادین فرادید پترو صنعت (مطابق شکل ۴-۱ و ۴-۲ در بخش پیوست) ۳۹ گرم بر مترمربع می‌باشد. نرخ جریان دستگاه ۱ لیتر بر دقیقه است.

$$Q = 1\ \frac{lit}{min} \times \frac{1}{10^3}\frac{m^3}{lit} = 10^{-3}\frac{m^3}{min}$$

$$A_{filter} = \pi\left(\frac{D^2}{4}\right) = 3.14 \times (\frac{8}{1000})^2 = \frac{3.14 \times 64}{10^6} = 200.96 \times 10^{-6} m^2$$

ظرفیت فیلتر مورد استفاده در دستگاه BW 7834.33 میکرو گرم می‌باشد.

$$39 \times 200.96 \times 10^{-6} gr \times \frac{10^6 \mu gr}{1 gr} = 7834.44\ \mu gr$$

ذرات آلاینده ورودی به ازای هر دقیقه

$$PM_{10} \times Q = 100\ \frac{\mu gr}{m^3} \times 10^{-3}\frac{m^3}{min} = 0.1\ \frac{\mu gr}{min}$$

زمان تعویض فیلتر

$$\frac{7834.44\ \mu gr}{0.1\ \frac{\mu gr}{min}} = 78344.4\ \text{min} \times \frac{1}{60}\frac{hr}{min} \times \frac{1}{24}\frac{day}{hr} \cong 54\ days$$

مطالعات نشان می‌دهد که زمان مناسب تعویض فیلتر حداکثر زمانی است که نصف ظرفیت فیلتر پر شده باشد. با فرض اینکه در ۲۴ ساعت به طور متوسط حدود ۸ الی ۱۲ ساعت از دستگاه‌ها استفاده شود با تقریب مناسبی می‌توانیم عدد بدست آمده را به عنوان مدت زمان مناسب تعویض فیلتر در نظر گیریم.

این محاسبات با روش متوسط‌گیری جهت کاربری آسان اپراتورهای دستگاه گازسنج، در جداول بخش نتیجه‌گیری به تفصیل آورده شده است.

همانطور که مشخص است، فیلترها به عنوان عاملی جهت کاهش استهلاک دستگاه‌ها و افزایش دقت عملکردی آن‌ها می‌باشند، که تعویض دیرهنگام آن‌ها و استفاده از فیلترهای قدیمی موجب خطای اندازه‌گیری و استهلاک دستگاه می‌گردد. با توجه به اینکه استفاده از فیلتر موجب پرشدن منافذ آن می‌شود؛ تعویض به هنگام آن برای تمامی واحدهای مسئول الزام‌آور است.

۳- نتیجه‌گیری

با توجه به موارد ذکر شده، برای فیلترهای گازسنج که در دسته‌ی فیلترهای راندمان بالا قرار می‌گیرند، مشخص است که در حجم بیشتر گرد و غبار نیاز به تعویض سریعتر فیلترها دارد. علاوه بر این، موارد ذکر شده نشان داد که حضور همزمان دو عامل رطوبت و دما در کنار ذرات، پر شدن فیلتر را تشدید می‌بخشند.

۱. با توجه به موارد ذکر شده و بررسی دستگاه‌های گازسنج مورد استفاده در صنعت، اهمیت فیلتراسیون و به تبع آن تعویض به‌هنگام فیلترها از منظر سازندگان دستگاه‌ها کاملا شفاف است. در واقع، سازندگان دستگاه محفظه فیلتر را به گونه‌ای طراحی کرده‌اند که فیلترها به راحتی با باز و بسته کردن یک پیچ توسط کاربر قابل بررسی و تعویض باشند.
۲. پر شدن فیلترها در این مقیاس با چشم غیر مسلح غیر قابل تشخیص است.
۳. با توجه به اینکه فیلترهای دستگاه‌های گازسنج، فیلترهای آبگریز هستند، در نتیجه افزایش رطوبت موجب عدم عبور رطوبت و قطرات همراه آن می‌شود، لذا تعویض دیرهنگام آنها در محیط‌های مرطوب، باعث عدم عبور جریان هوا که در ادامه‌ی آن خطا در اندازه‌گیری رخ خواهد داد و افزایش افت فشار که باعث خرابی پمپ دستگاه می‌شود.
۴. در صورت بالا رفتن درصد رطوبت بیش از حد محیط و عدم تعویض به‌هنگام فیلتر، رطوبت به محفظه دستگاه نفوذ کرده و باعث خطا در خوانش و آسیب به برد دستگاه می‌شود.

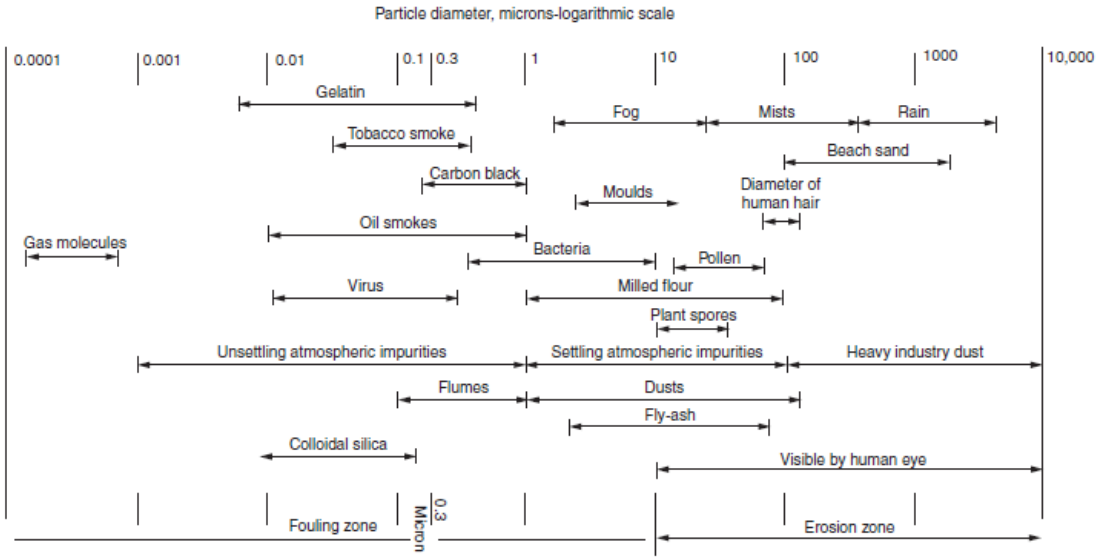
۳-۱-جدول محاسبه زمان تعویض فیلتر

جدول ۳-۳ برای محاسبه‌ی زمان تعویض فیلترها بر اساس ۲ شاخص AQI و Humidex معرفی شده است. همچنین یک مثال برای طریقه‌ی محاسبه‌ی زمان تعویض فیلتر آورده شده است. در جدول ۳-۱ بر اساس دما و رطوبت روز، شاخص Humidex و وزن آن بدست می‌آید. سپس با توجه به جدول ۳-۲ و براساس اطلاعات سازمان هواشناسی، شاخص AQI و وزن آن بدست می‌آید. در مرحله بعد با اثر دادن این دو شاخص، شاخص جدید EAQI معرفی خواهد شد. با داشتن عدد این شاخص وارد جدول اطلاعات هواشناسی شده و در محدوده‌ی عدد بدست آمده میزان ذرات PM_{10} موجود در هوا را شناسایی کرده، در ادامه با یافتن این عدد و ظرفیت فیلتر می‌توان مدت زمان پر شدن فیلتر و زمان تعویض آن را محاسبه کرد. بررسی‌ها حاکی از آن بوده که زمان مناسب تعویض فیلتر، زمانی است که ۵۰٪ ظرفیت آن پر شده باشد. این زمان به صورت خلاصه با توجه به شرایط مورد بررسی در جداول آورده شده است.

شکل ۳-۱ محدوده اندازه ذرات در محیط را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است، گرد و غبار صنعتی شدید[14] در محدوده دید انسان قرار می‌گیرد. با توجه به عملکرد فیلترهای دستگاه‌های گازسنج که در محدوده‌ی بسیار کمی توانایی فیلتراسیون دارند، در زمان آلودگی سنگین صنعتی، فیلترها با سرعت بیشتری تعویض گردند[8]. همان‌طور که قبلا نیز اشاره شد رطوبت و دما محرک‌هایی برای اثر آلودگی هستند و اثر آن را بر پر شدن فیلتر تشدید می‌کنند لذا در شرایطی که یکی از دو عامل رطوبت بالای ۴۰٪ ویا دمای بالای ۳۵ درجه همراه با شرایط heavy industry dust باید بلافاصله فیلترها تعویض گردند. در غیر این صورت در شرایط رطوبتی و دمایی کمتر می‌توان در شرایط

[14] Heavy Industry Dust

heavy industry dust، فیلترها را هر ۶-۸ روز یکبار تعویض کرد. جدول ۳-۴ زمان تعویض فیلتر در این شرایط خاص دمایی و رطوبتی را به اختصار نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱- اندازه نسبی آلودگی‌های موجود در هوا

جدول ۳-۱- شاخص Humidex و وزن اثرگذار آن در محاسبه EAQI

دما T(°c)	رطوبت نسبی (RH%)	Humidex	W_h
0-22	70≥	17-29	3
	70<	Change the filter	-
22-25	60≥	17-29	3
	65±5	30-39	2
26-28	≤40	17-29	3
	40<	30-39	2
29-31	≤30	17-29	3
	45±15	30-39	2
	65±5	40-45	1
	70≤	Change the filter	-
32-34	30±10	30-39	2
	50±10	40-45	1
	65±5	46-54	0
	70≤	Change the filter	-
35-37	30±10	40-45	1
	50±10	46-54	0
	65±5		
	70≤	Change the filter	-
38-40	20±10	40-45	1
	40±10	46-54	0
	60±10	55-60	-1
	70≤	Change the filter	-
41-43	25±10	46-54	0
	45±10	55-60	-1
	65±5	61-65	-2
	70≤	Change the filter	-
44-46	20±5	46-54	0
	30±5	55-60	-1
	40±5	61-65	-2
	50≤	Change the filter	-
47-50	20±5	55-60	-1
	30±5	61-65	-2
	40≤	Change the filter	-
51-55	20±5	55-60	-1
	30±5	61-65	-2
	35≤	Change the filter	-

جدول ۳-۲- شاخص AQI و وزن اثرگذار آن در محاسبه EAQI

AQI	Level of Health	W_{AQI}
0-50	Good	3
51-100	Moderate	2
101-150	Unhealthy of sensitive	1
151-200	Unhealthy	0
201-300	Very unhealthy	-1
301-400	Hazardous	-2

جدول ۳-۳- مدت زمان پیشنهادی فیلترها با اثر دادن پارامترها در شاخص EAQI

$W_h + W_{AQI} = W_T$	EAQI (Enhanced AQI)	Approximate replacement time
6	Best	100 days
5-4	Better	50 days
3-2	Good	25 days
1-0	Bad	15 days
-2- -1	Worse	10 days
-4- -3	Worst	5 days

* در صورت گازسنجی در روزهای بارانی پس از اتمام فرآیند گازسنجی بلافاصله فیلترها تعویض گردد.

* با توجه به جدول ۱ ردیف‌های رنگی نشان‌دهنده جایگزینی فیلتر بلافاصله پس از یکبار استفاده می‌باشد.

جدول ۳-۴- بررسی اثر دما و رطوبت در شرایط heavy industry dust و زمان تعویض فیلترها

T (°c) ≥ 35	**RH (%) ≥ 40**	**Filter replacement time (day)**
✓	×	Change the filters Immediately
×	✓	
✓	✓	
×	×	6-8 days

مثال

به منظور تعیین مدت زمان تعویض فیلتر با توجه به اطلاعات موجود در سایت هواشناسی ایران، مقدار متوسط شاخص آلایندگی (AQI)، درصد رطوبت نسبی (RH%) و دما (درجه سانتی‌گراد)، برای شهر بوشهر در بازه زمانی ۱۵ تا ۳۱ مرداد ۱۴۰۲ به ترتیب ۱۲۰، ۶۷٪ و ۳۶ درجه سانتی‌گراد بوده است[17]. با توجه به اطلاعات فوق به ترتیب زیر عمل می‌کنیم:

۱) با توجه به جدول ۳-۱ و بررسی ستون‌های دما و رطوبت نسبی، وزن اثرگذار شاخص Humidex برابر با صفر می‌باشد.

35-37	30±10	40-45	1
	50±10 65±5	46-54	0
	70≤	Change the filter	-

۲) در ادامه با توجه به جدول ۳-۲ وزن اثرگذار شاخص AQI برابر با ۱ می‌باشد.

101-150	Unhealthy of sensitive	1

۳) با توجه جدول ۳-۳ و محاسبه‌ی مجموع پارامترها، به طور تقریبی هر ۱۵ روز یکبار فیلترها تعویض گردد.

محاسبات :

1-0	Bad	15 days

$W_h = 0$, $W_{AQI} = 1$, $W_T = W_h + W_{AQI} = 1$

Approximate Filter Replacement Time = 15 Days

۴- پیوست‌ها

Date: 1402/05/ 01
Doc No: D-1402-LS-241

ISTT

Test No: 1402-LS-241

Test Report

General

Test No: 1402-LS-241 | **Date of Test:** 15/07/2023 | **Supervisor:** Dr.Hamdami

Model: Flat sheet media | **Manufacturer:** Radin faradid | **Order by:** Radin faradid | Material code: NJ-6036N2

Test Data

Test Temp: 23 °c | **RH:** 45 To 46%

Clause	Performance test	Result
En-779 (6.1.3)	Initial Pressure drop (Pa) @ 1 lit/min	131
	Dust holding capacity (g/m²)	39

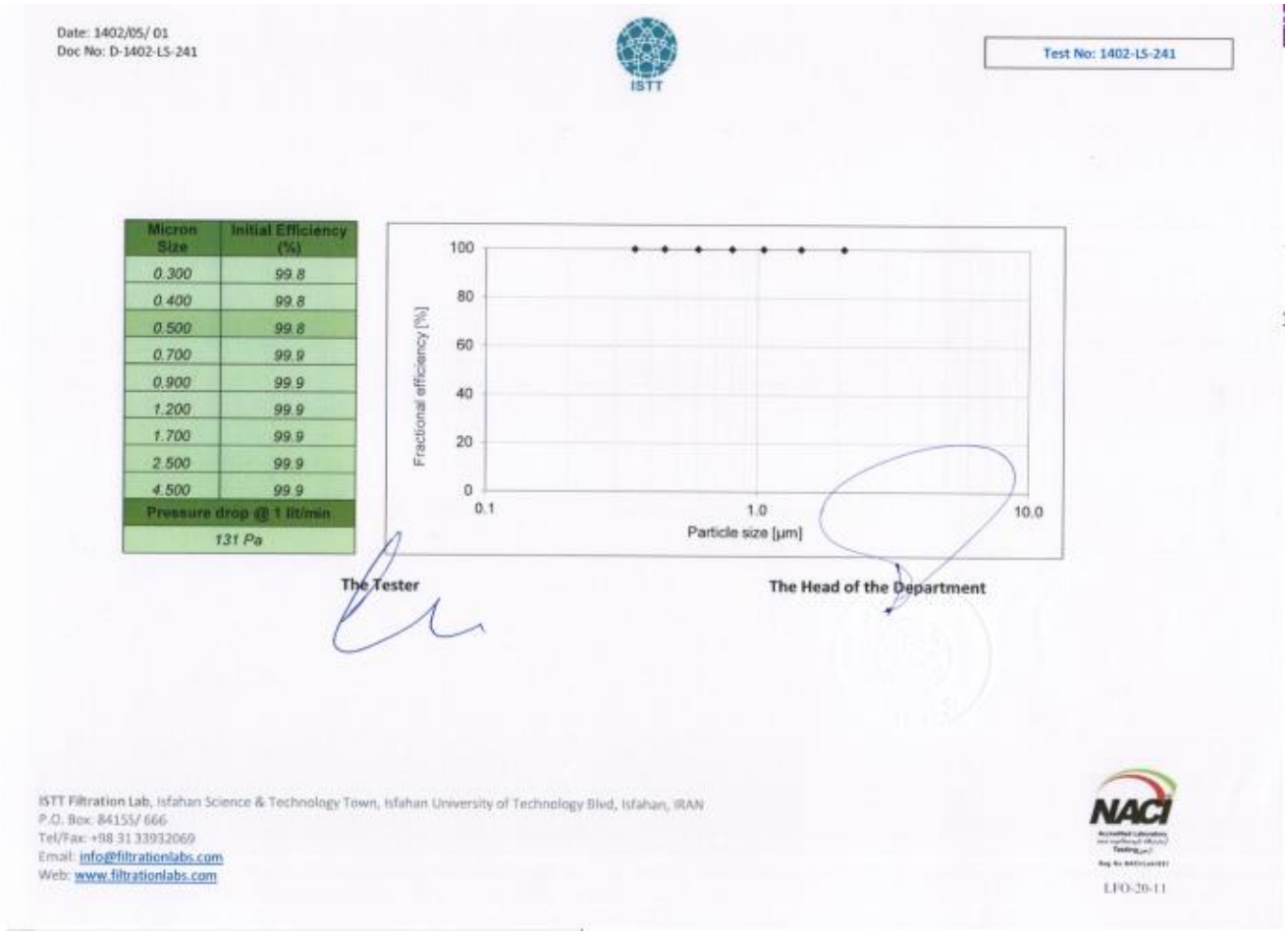
The Tester | The Head of the Department

ISTT Filtration Lab, Isfahan Science & Technology Town, Isfahan University of Technology Blvd, Isfahan, IRAN
P.O. Box: 84155/ 666
Tel/Fax: +98 31 33932069
Email: info@filtrationlabs.com
Web: www.filtrationlabs.com

NACI

LFO-20-11

شکل ۴-۱- آزمون ظرفیت فیلتر شرکت رادین فرادید پترو صنعت بر اساس استاندارد EN779



Date: 1402/05/ 01
Doc No: D-1402-LS-241

ISTT

Test No: 1402-LS-241

Micron Size	Initial Efficiency (%)
0.300	99.8
0.400	99.8
0.500	99.8
0.700	99.9
0.900	99.9
1.200	99.9
1.700	99.9
2.500	99.9
4.500	99.9
Pressure drop @ 1 lit/min	
131 Pa	

The Tester

The Head of the Department

ISTT Filtration Lab, Isfahan Science & Technology Town, Isfahan University of Technology Blvd, Isfahan, IRAN
P.O. Box: 84155/ 666
Tel/Fax: +98 31 33932069
Email: info@filtrationlabs.com
Web: www.filtrationlabs.com

NACI

LFO-20-11

شکل ۴-۲- بازده اولیه فیلتر رادین فرادید پترو صنعت بر اساس استاندارد EN779

۵- منابع

[1] J. M. Barnett, K. R. Schrank, M. Bliss, and S. K. Cooley, "Hepa filter age evaluation and estimate of nominal lifetime in nuclear facilities," *Prog. Nucl. Energy*, vol. 139, no. July, p. 103881, 2021, doi: 10.1016/j.pnucene.2021.103881.

[2] A. Analysis and U. Manual, "User Manual MAX XT II Gas Alert," *Data Base*, vol. 3304, no. January, pp. 1–148, 2012.

[3] P. F. Detector, "| Gas Detection User Manual Honeywell BW ™ Ultra Limited Warranty and Limitation of Liability".

[4] P. Craig, *ALTAIR 5X – Multigas Detector ALTAIR 5X IR – Multigas Detector,1000 Cranberry Woods Drive Cranberry Township, PA 16066 USA*. 2015.

[5] O. Manual and M. Detector, "Operating Manual Altair 4x Multigas Detector," no. 10106503.

[6] O. No, "Operating Manual Multigas Detector ORION plus," no. 3, 2005.

[7] O. Multigas, D. M. Orion, and D. Orion, "Orion ® Multigas Detector," no. L, 2005.

[8] S. S. Mukrimaa *et al.*, *filter and filteration handbook*, vol. 6, no. August. 2016.

[9] O. Manual, "ALTAIR 5 – Multi Gas Detector ALTAIR 5IR – Multi Gas Detector".

[10] L. Y. Wang, L. E. Yu, and T. S. Chung, "Effects of relative humidity, particle hygroscopicity, and filter hydrophilicity on filtration performance of hollow fiber air filters," *J. Memb. Sci.*, vol. 595, no. August, p. 117561, 2020, doi: 10.1016/j.memsci.2019.117561.

[11] R. Nielsen, A. R. Gwosdow, L. G. Berglund, and A. B. Dubois, "The Effect of Temperature and Humidity Levels in a Protective Mask on User Acceptability During Exercise," *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, vol. 48, no. 7, pp. 639–645, 1987, doi: 10.1080/15298668791385336.

[12] R. Boudhan, A. Joubert, S. Durécu, K. Gueraoui, and L. Le Coq, "Influence of air humidity on particle filtration performance of a pulse-jet bag filter," *J. Aerosol Sci.*, vol. 130, pp. 1–9, 2019, doi: 10.1016/j.jaerosci.2019.01.002.

[13] "راهنمای محاسبه، تعیین و اعلام شاخص کیفیت هوا، *"الزامات، دستورالعمل و رهنمودهای تخصصی مرکز سلامت محیط و کار*، ۳۵ صفحه، ۲۰۰۴.

[14] Q. P. Ha, S. Metia, and M. D. Phung, "Sensing Data Fusion for Enhanced Indoor Air Quality Monitoring," *IEEE Sens. J.*, vol. 20, no. 8, pp. 4430–4441, 2020, doi: 10.1109/JSEN.2020.2964396.

[15] S. S. Park, S. A. Jung, B. J. Gong, S. Y. Cho, and S. J. Lee, "Characteristics of PM2.5 haze episodes revealed by highly time-resolved measurements at an air pollution monitoring supersite in Korea," *Aerosol Air Qual. Res.*, vol. 13, no. 3, pp. 957–976, 2013, doi: 10.4209/aaqr.2012.07.0184.

[16] K. Sharafi, T. Khosravi, M. Moradi, and M. Pirsaheb, "Air quality and variations in PM10 pollutant concentration in western iran during a four-year period (2008-2011), Kermanshah-a case study," *J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 10, no. 1, pp. 47–56, 2015.

[17] "سایت سازمان هواشناسی کشور https://www.irimo.ir/far "پیش بینی وضع هوای بوشهر.